

Iluminación de instalaciones de vacuno de leche

Introducción

Los factores ambientales tienen gran influencia en la reproducción y en otras funciones productivas de los animales domésticos. Por ejemplo, el impacto negativo del estrés calórico es de sobra conocido por los productores de leche de vaca. Desde hace mucho tiempo, los productores avícolas han manejado la luz para incrementar la producción de las gallinas y de los pollos de engorde. En especies con reproducción estacional como la oveja o la yegua la modificación del fotoperíodo puede utilizarse para modificar la estación reproductiva. En vacuno de leche, el manejo de la iluminación sólo ha sido considerado un método de interés para mejorar la producción desde hace no más de 15-20 años.

Por otra parte, la adecuada iluminación también proporciona un ambiente de trabajo más seguro y confortable, lo que aumenta la productividad de la mano de obra, aspecto éste que ha sido ampliamente demostrado en la industria de manufacturas y en el sector de administración y oficinas.

Se entiende por fotoperíodo el tiempo en el que un animal (o una persona) está expuesto a la luz (natural o artificial) a lo largo de un periodo de 24 horas; dicho de otra forma, fotoperíodo es el número de horas de luz diarias. Se considera un día largo (o fotoperíodo largo) el que proporciona 16-

18 horas de luz y, por tanto, 8-6 horas de oscuridad. Un día o fotoperíodo corto sería el que proporciona 8 horas de luz y 16 de oscuridad, si bien en condiciones de campo cualquier fotoperíodo inferior a 12 horas proporciona la misma respuesta. De hecho, según nos aproximamos a la línea del ecuador la duración mínima del período diario de oscuridad se va acercando a las 12 horas, siendo imposible proporcionar menos oscuridad, salvo en edificios cerrados.

El manejo del fotoperíodo tiene interés en la producción de leche pues son numerosos los estudios que muestran un incremento de la producción en vacas expuestas a días largos, con respecto al fotoperíodo natural. El fotoperíodo también afecta el crecimiento y reproducción del ganado joven, y otros estudios sugieren que la iluminación afecta también la función inmune.

Fisiología del fotoperíodo

La exposición a la luz inhibe la secreción de melatonina en el bovino y en otras especies. Por ello, según se incrementa la longitud del fotoperíodo se reduce el tiempo en que la melatonina se encuentra en concentraciones elevadas en sangre. La pauta que sigue la melatonina influye en la secreción de otras hormonas, en particular la de prolactina (PRL) y la de la insulina como factor de crecimiento (IGF-I). Se piensa que los cambios en los niveles de IGF-I son importantes en el aumento de producción de leche observado en vacas lecheras expuestas a fotoperíodos largos. Por el contrario, los cambios en los niveles de PRL observados en respuesta a modificaciones en el fotoperíodo pueden estar detrás de los efectos en las vacas secas que se comentarán posteriormente (Figura 1).

En ganado vacuno, el incremento de PRL circulante es independiente del sexo, de la edad o del estado de lactación, con la única excepción de que no hay incremento de PRL en ambientes muy fríos. No parece que el efecto de los días largos en la producción de leche se deba a cambios en los niveles de PRL, por dos razones. La primera es que el efecto de los días largos sobre la producción persiste incluso en situaciones de muy baja temperatura cuando, como acabamos de mencionar, no hay aumento de PRL. La segunda es que la administración de PRL exógena tampoco afecta al aumento de producción de leche en respuesta a la exposición a días largos durante la lactación.

Un malentendido habitual es pensar que las vacas comen más por disponer de más horas de luz para acercarse al comedero y que, por ello, aumenta la producción de leche. Es al contrario. Fotoperíodos más largos estimulan la producción de

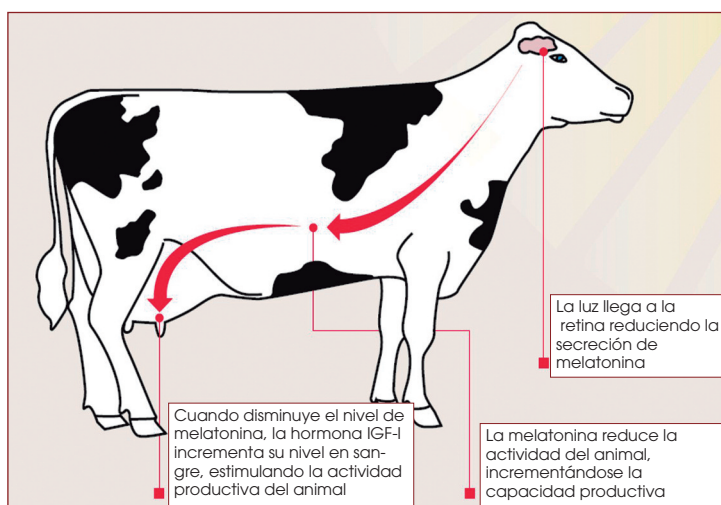


Figura 1. Fundamento del estímulo luminoso de la producción de leche

Antonio Callejo Ramos. Dr. Ingeniero Agrónomo
Dpto. de Producción Agraria-E.T.S.I.A.A.B.-UPM
antonio.callejo@upm.es

leche y ello conduce a una mayor ingestión para aportar la energía suplementaria necesaria para esta mayor síntesis de leche. Puesto que las vacas pasan mucho más tiempo tumbadas que de pie en el comedero, colocar únicamente lámparas en la línea de comederos limita severamente la exposición a este tiempo extra de luz.

La respuesta productiva a fotoperíodos largos (16 h/día) obtenida en estudios experimentales y de campo es el de una producción extra de leche de 2 a 3 kg/vaca y día. Es una respuesta lineal, que no depende del nivel de producción de la vaca, habiéndose obtenido resultados muy similares en animales produciendo 20 kg o 35 kg de leche. Con respecto a los componentes de la leche, no se han observado efectos en el porcentaje de lactosa, proteína, grasa o sólidos. No obstante, al aumentar la producción, también aumentan la cantidad de estos componentes, pero sin variar significativamente su porcentaje. Hay que reseñar que la respuesta productiva a los días largos no es inmediata sino que tarda entre 3 y 4 semanas en manifestarse.

La consecuencia sobre el consumo es una respuesta típica de 1 kg MS/día adicional por el aumento de 2,5 kg de leche/día.

La intensidad de la luz necesaria para obtener respuesta a la mayor duración del fotoperíodo se sitúa entre 150 y 200 lux, con una adecuada distribución de las lámparas para alcanzar esos valores de iluminación en todo el establo, no sólo en el comedero. Más adelante, ampliaremos estas cuestiones técnicas (Figura 2).



Figura 2. No sólo se debe iluminar el comedero

Fotoperíodo y otras prácticas de manejo

En las granjas que realizan 3 ordeños diarios puede resultar más complicado conseguir períodos de oscuridad de suficiente duración, si bien no se ha documentado ningún límite inferior para este período. Algunos estudios han verificado el efecto de los días largos con períodos continuos de oscuridad cortos, de 6 h/d. por lo que recomiendan que las pautas de ordeño se acomoden para dejar entre dos de los tres ordeños un período de oscuridad de, al menos, 6 h/d.

Disponer de luces rojas de intensidad débil puede facilitar el movimiento de las vacas en un establo sin luz y extender así el período de oscuridad. Lámparas de baja intensidad pueden colocarse a

6-9 metros de distancia y a 5 m de altura. Esta luz roja de baja intensidad no influye en la respuesta de los animales al fotoperíodo (Figura 3).



Figura 3. La luz roja no es percibida por las vacas pero permite su vigilancia

En contraste con las vacas en lactación, diversos trabajos realizados en EE.UU. y en Canadá señalan que un fotoperíodo corto es más adecuado para las vacas secas, produciendo 3,5 kg de leche más por día en la lactación subsiguiente que aquellas vacas que estuvieron expuestas a fotoperíodos largos durante el período seco. Lo que implica que las vacas secas deberían estar alojadas en corrales o naves diferentes a los de las vacas en ordeño para poder manejar el fotoperíodo de modo diferente.

Por otra parte, las vacas secas expuestas a días largos no consumen más alimento que las sometidas a días cortos, pero sí tienen pautas de alimentación algo diferentes, pues pasan más tiempo comiendo tras la distribución de la ración, en tanto las vacas secas expuestas a días cortos distribuyen su consumo de forma más uniforme a lo largo del día. Esta circunstancia puede ser útil en el diseño del establo y del área de alimentación, pues el pico de uso del comedero sería diferente entre ambos grupos.

Aunque las vacas no son animales de reproducción estacional, hay algunos efectos sutiles del fotoperíodo sobre el eje reproductor. Los fotoperíodos largos aceleran la pubertad en novillas (quienes, además, alcanzan mayor peso vivo al primer parto) y, en ganado adulto, las vacas que paren en invierno, cuando los días son cortos, presentan un mayor retraso en volver a manifestar celos que las vacas que paren en verano, cuando los días son largos.

En los países donde está permitido el uso de somatotropina bovina (bST), se observan efectos aditivos al de la aplicación de fotoperíodos largos. No hemos encontrado estudios sobre el posible efecto adicional de ordeñar tres veces, pero puesto que el incremento de producción debido al uso de bST o de fotoperíodos largos se debe a mecanismos fisiológicos diferentes, hay razones para pensar que la triple combinación de tratamientos (3 ordeños, bST y días largos) produciría incrementos de producción al menos equivalentes a la suma de cada tratamiento por separado.

Retorno económico

Existen algunos estudios donde se destaca la rentabilidad de aumentar el fotoperíodo debido al aumento de producción de leche que provoca. Como estos estudios no son excesivamente recién-

Iluminación de instalaciones de vacuno de leche

tes y están expresados en dólares americanos, nosotros sólo vamos a proponer una ecuación muy sencilla que sirva para valorar esa rentabilidad. Tan sencilla como tener en cuenta los ingresos adicionales y restarle los gastos adicionales derivados del aumento de producción. Si el resultado de esta resta es positivo, podremos considerar esta práctica rentable:

Ingresos adicionales:

precio leche (€/l) x litros adicionales de leche/d (2-2,5)

Gastos adicionales:

consumo adicional (kg/d), habitualmente 1 kg/2,5 kg de leche +
+ Consumo eléctrico adicional

Como este beneficio neto (positivo o negativo) es diario, bastaría multiplicarlo por 30 o por 365 para determinar el beneficio mensual o anual, respectivamente. A la vista de los números obtenidos se tomaría la decisión pertinente.

El consumo eléctrico adicional depende, como es obvio, del número de horas de luz suplementarias que es preciso aportar que, a su vez, dependerá de la época del año y de la latitud geográfica. En la tabla 1 se puede ver el número de horas de luz natural a lo largo del año en tres latitudes diferentes y las horas de luz suplementaria que es necesario aportar en cada caso.

Necesidades de luz en el alojamiento de vacas lecheras

A determinadas horas del día, la iluminación natural de un local puede no ser suficiente (por ser de noche o por ser un día nublado) y debe ser suplementada con iluminación artificial. Iluminación que debe ser uniforme y conforme al trabajo que se re-

alice, y que no debe provocar deslumbramientos a los animales ni a los operarios. La iluminación artificial debe responder también a las necesidades de actividad, de confort, de seguridad o de ambiente. Para cada situación deben definirse las necesidades de luz tanto en términos de calidad de luz como de consumo de energía.

La iluminación recomendada varía según el uso del local o de los alojamientos de cría. Para ciertas actividades se aconseja una iluminación localizada. Para las zonas de circulación de animales es preciso que la luz emitida por las lámparas no les cause deslumbramientos para facilitar sus desplazamientos. Por ejemplo, en la zona o pasillo de embarque, la luz debe dirigirse hacia el fondo del camión para que los animales se muevan con facilidad.

La tabla 2 indica el valor de flujo luminoso recomendable en función del local y de la actividad que se realiza. Las cifras están expresadas en lux.

En bibliografía especializada se pueden encontrar tablas muy completas sobre necesidades de iluminación.

Control del fotoperíodo

El período suplementario de luz sobre la luz natural puede ser controlado mediante un temporizador y una célula fotoeléctrica colocados en serie (lo más eficiente) o únicamente por el primero. El temporizador enciende y apaga la luz a horas prefijadas, mientras que la célula fotoeléctrica puede apagar la luz cuando la iluminación natural es suficiente (independientemente de la hora) o encenderla si no lo es. Se recomienda instalar esta célula bajo el alero, en la esquina noroeste de la nave o establo, convenientemente protegida.

Tabla 1. Variación en la duración del día natural a lo largo del año y horas suplementarias necesarias para alcanzar un fotoperíodo de 16 h/d en edificios abiertos y en tres latitudes diferentes (hemisferio Norte)

Lat	Duración media del día natural (h/d)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
45°	9.20	10.45	11.87	13.48	14.81	15.55	15.25	14.08	12.56	11.01	9.60	8.85
35°	10.09	10.95	11.94	13.06	13.98	14.47	14.27	13.47	12.41	11.34	10.36	9.86
25°	10.78	11.33	11.99	12.73	13.34	13.66	13.53	13.29	12.31	11.59	10.95	10.62
Lat	Horas suplementarias de luz para alcanzar 16 h/d											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
45°	6.80	5.55	4.13	2.52	1.19	0.45	0.75	1.92	3.44	4.99	6.40	7.15
35°	5.91	5.05	4.06	2.94	2.02	1.53	1.73	2.53	3.59	4.66	5.64	6.14
25°	5.22	4.67	4.01	3.27	2.66	2.34	2.47	2.71	3.69	4.41	5.05	5.38
Total horas de luz suplementarias anuales							25°	35°	45°			
							1.394	1391	1375			

Tabla 2. Iluminación recomendada en función del tipo de local y de la actividad

Local	Actividad	Il. general	Il. localizada
Alojamiento de animales	Zona de circulación: personas, animales, material	70/80*	
	Área de reposo	20/50*	
	Zona de partos y veterinaria		150
	Boxes específicos (aislamiento, partos, adopción, terneros)		250
Sala de ordeño		100/150	150/200 nivel ubre
Lechería	General	300	
	Sobre el tanque de leche		150
Corral de espera		100	
Quesería,	Sala de fabricación	500	
	Sala de lavado		300
	Secadero, curado, cava	100	
Preparación de alimentos		200	
Pasillo distribución ración		200	
*150-200 lux para conseguir un aumento productivo			

Illuminación de instalaciones de vacuno de leche

En instalaciones de última generación, cada punto de luz dispone de una dirección IP, por lo que pueden ser manejados desde cualquier dispositivo informático conectado a internet, pudiéndose controlar el encendido y apagado individual de cada punto de luz o, incluso, la intensidad y color de luz emitidos.

Calidad de luz

Además de la cantidad de luz o flujo luminoso, debe también considerarse la calidad de la luz en un área de trabajo. El color de la fuente luminosa, la uniformidad de la iluminación y el brillo (deslumbramiento) son otros parámetros que deben ser tenidos en cuenta

Color de luz

La temperatura de color característica (CCT) y el índice de rendición de color (CRI) son parámetros utilizados para describir las características de color de la luz artificial. La CCT describe el color de la luz mediante una escala de temperatura en grados Kelvin, desde 1.500 a 6.500 K. Luces con CCT más cercanas a 6.500 K proporcionan una luz blanca, que se aproxima más a la luz del sol.

El CRI indica la capacidad de la luz de obtener el verdadero color del objeto iluminado. Los valores de CRI van de 0 a 100. Luces con valores más altos

de CRI proporcionan luz que permite obtener un color más próximo al verdadero, mientras que luces con valores más bajos de CRI producen alguna distorsión del color. Un CRI de 80 o más es recomendable en oficina, sala de ordeño, lechería y áreas de tratamiento de animales. Los valores típicos de ambos parámetros de color de luz de los tipos de lámparas más habituales se indican en la Tabla 3.

Uniformidad

En un alojamiento o local ganadero, es necesario pensar en la disposición de las lámparas o luminarias. Los haces de luz de dos lámparas contiguas deben cruzarse para conseguir una iluminación uniforme, para lo que habrá que considerar también la altura de colocación de las luminarias sobre el plano de trabajo (Figura 4)

El número de luminarias o lámparas a instalar será igual al flujo luminoso total necesario dividido por el flujo luminoso emitido por cada una de las luminarias. La figura 5 describe un modo de reparto de las lámparas en un local.

La relación entre la distancia entre luminarias (s) y la altura a la que se colocan sobre el plano de trabajo (Hp) determina la uniformidad de iluminación en dicho área de trabajo. El plano de trabajo habitual se sitúa entre 60 y 90 cm del suelo, de forma que el flujo luminoso recomendado se mida a la al-

Tabla 3. Características generales de distintos tipos de luminarias para iluminación interior de alojamientos lecheros.

Tipo de lámpara	Potencia (W)	Eficiencia (lúmenes/W)	Tº de color	CRI	Vida útil (h)
Incandescente	34-200	11-20	2.500-3.000	100	750-2.000
Halógena	50-150	18-25	3.000-3.500	100	2.000-3.000
Fluorescente	32-110	75-98	3.500-5.000	70-95	15.000-20.000
Bombilla fluorescente	5-50	50-80			10.000
Haluro metálico	70-400	60-94	3.700-5.000	60-80	7.500-10.000
Sodio a alta presión	35-400	63-125	2.000-2.700	n/a	15.000-24.000
LED	0.2-5.0	60-250		75-80	50.000

Figura 4. El cruzamiento de los haces luminosos es una buena señal de uniformidad

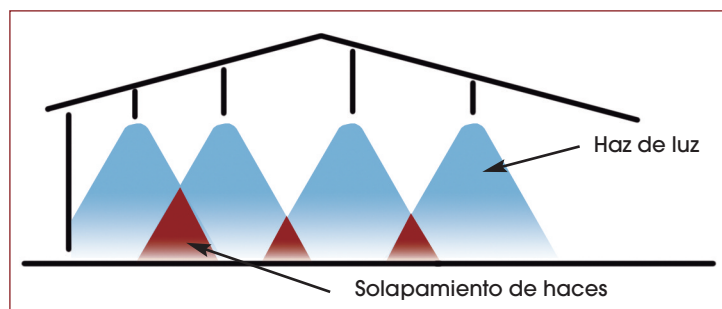
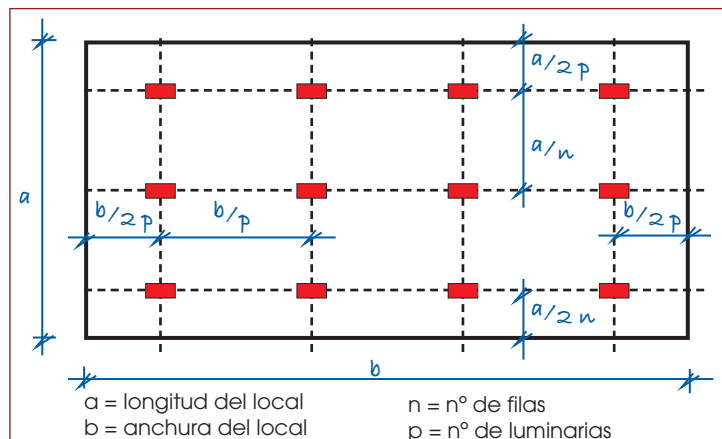


Figura 5. Ejemplo de distribución de las luminarias en un local



tura de los ojos de la vaca cuando está de pie en el comedero y tumbada en la zona de reposo. También se usa el coeficiente de variación alrededor del nivel medio de iluminación ($CV (\%) = (\text{desviación estándar}/\text{media}) \times 100$). Este coeficiente de variación tiene una buena correlación respecto a la relación entre la distancia entre luminarias y su altura de colocación sobre el plano de trabajo (s/Hp), antes mencionada. La uniformidad recomendada se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Uniformidad de iluminación recomendada para alojamientos lecheros

Tarea	Máximo CV (%)	Valor s/Hp
Intensiva visualmente (p.ek. ordeño)	25	0.87
Manejo de ganado y equipamiento	45	1.57
Iluminación general, de baja intensidad	55	1.92

En el foso de ordeño, oficina y lechería debe conseguirse una relación s/Hp de 0.87 o inferior. Por el contrario, un valor de esta relación de 1,57 o inferior es adecuado en zonas donde la uniformidad de luz no es tan importante, como la de alimentación o las de reposo y ejercicio. El uso de superficies en las paredes, techo y suelo que reflejen la luz (sin provocar deslumbramientos) favorece la uniformidad de iluminación y el rendimiento de la fuente de luz.

Deslumbramiento

El deslumbramiento puede definirse como cualquier brillo que aparece en el campo de visión y que provoca molestias, reducción de la visión y fatiga ocular. El deslumbramiento es el resultado de un exceso de luz en la línea normal de visión del área de trabajo. Este exceso de luz puede ser emitido de forma directa por la lámpara o ser el reflejo de una superficie brillante. La adecuada selección y correcto montaje de las luminarias sobre el campo o línea de visión y el uso de material mate en las superficies interiores reducen considerablemente el deslumbramiento.

Cálculo de la iluminación

Método del área de trabajo

No toda la luz emitida por las luminarias es recibida en el plano de trabajo. La cantidad de luz efectiva que puede medirse en esta área depende de:

- El diseño de la luminaria, con mayor o menor reflexión de la luz hacia abajo
- La reflectividad de las paredes, del suelo y del techo
- La altura de montaje
- La disminución del rendimiento lumínico con el tiempo
- La cantidad de suciedad depositada en la luminaria

El objetivo del cálculo es determinar el número de lámparas o luminarias de una determinada intensidad luminosa (lúmenes) que se necesitan para proporcionar el flujo luminoso (lux) que se requiere en una zona determinada.

Hay diversos métodos de cálculo, desde los más simples a los más complicados. También se dispone de diversas aplicaciones y programas informáticos, con abundantes "librerías" de lámparas, que agilizan notablemente el trabajo, si bien suelen estar más pensados para iluminación residencial o industrial y, por tanto, se necesita pensar y adaptar la solución a las condiciones de los alojamientos e instalaciones ganaderas.

Una fórmula sencilla es la siguiente:

$$\text{Flujo total (lúmenes)} = \frac{\text{iluminación necesaria (lux)} \times \text{sup. a iluminar (m}^2\text{)}}{Q1 \times Q2 \times Q3}$$

Donde:

Q1 = Factor de reflexión de las paredes del local o nave, variable según el material y color (tabla 5)

Tabla 5. Factor de reflexión de la luz de diferentes materiales utilizados en alojamientos ganaderos

Material	Factor de reflexión de la luz
Pintura gris	0,15 (gris oscuro) a 0,65 (gris muy claro)
Yeso blanco	0,85
Cemento claro	0,40
Madera natural	0,40
Ladrillo rojo	0,20

Q2 = Factor de rendimiento de la lámpara, dado por el fabricante. El rendimiento habitual de las lámparas utilizadas en ganadería varía de 0,60 a 0,80

Q3 = Factor de depreciación de la lámpara. Este factor oscila entre 1,3 y 1,6, según el nivel de suciedad y la frecuencia de limpieza.

Ejemplo 1. Iluminación de una estabulación

Supongamos un alojamiento para vacas lecheras de 648 m² con un pasillo de alimentación de 180 m², un área de reposo de 444 m² y una zona de partos de 24 m².

Las necesidades de iluminación son las siguientes (tabla 2):

Pasillo de alimentación: 80 lux (150)

Área de reposo: 30 lux (150)

Zona de partos: 150 lux

Las variables de ajuste toman los valores siguientes:

Q1 = 0,40 (tabla 5)

Q2 = 0,70

Q3 = 1,30

De la ecuación propuesta se deduce que el flujo luminoso total para cada zona es el siguiente:

$$\text{Pasillo de alimentación} = \frac{150 \text{ lux} \times 180 \text{ m}^2}{0,40 \times 0,70 \times 1,30} = 74.176 \text{ lúmenes}$$

Proporcionados por 10 luminarias de doble tubo fluorescente de 40 W y 3.800 lúmenes cada una

$$\text{Área de reposo} = \frac{150 \text{ lux} \times 444 \text{ m}^2}{0,40 \times 0,70 \times 1,30} = 182.967 \text{ lúmenes}$$

Proporcionados por 24 luminarias de doble tubo fluorescente de 40 W y 3.800 lúmenes cada una

$$\text{Zona de partos} = \frac{150 \text{ lux} \times 24 \text{ m}^2}{0,40 \times 0,70 \times 1,30} = 9.720 \text{ lúmenes}$$

Proporcionados por una luminaria de doble tubo fluorescente de 40 W y 3.800 lúmenes cada una

Resumen

En este trabajo hemos querido destacar que la iluminación de los alojamientos e instalaciones de granjas de vacuno de leche puede ser manejada con el fin de aumentar la producción de los animales, sin olvidar la importancia de la luz en el confort de éstos al poder desplazarse con más confianza y seguridad. Obviamente, una adecuada iluminación también mejora las condiciones de trabajo de los operarios y su rendimiento.

El cálculo de la iluminación puede ser más complejo que el que hemos señalado aquí, si bien la posible complejidad de cálculo se simplifica mediante el uso del software adecuado.

Referencias bibliográficas

- Chastain, J.P. 2000. *Lighting in Freestall Barns*. "Dairy Housing and Equipment Systems: managing and planning for profitability. NRAES. pp. 115-130
- Dahl, G.E. 2000. *Photoperiod management of dairy cows*. "Dairy Housing and Equipment Systems: managing and planning for profitability. NRAES. pp. 131-136.
- Institut de l'Elevage. 2002. *L'éclairage artificiel des bâtiments d'élevage de ruminants*. Institut de l'Elevage, collection l'Essential. 18 pp.
- Janni, K. 2005. *Lighting dairy facilities*. Univ. of Minnesota
- Dahl, G.E. 2005. *Let there be light: photoperiod management of cows for production and health*. Proceedings 42^o Florida Dairy Production Conference, Gainesville, FL, pp:35-42.
- Dahl, G.E. 2006. *Effect of photoperiod on feed intake and animal performance*. Tri-State Dairy Nutrition Conference.
- Ludington, D. y Gooch C.A. 2003. *Lighting design considerations for photoperiod management in freestall and tiestall dairy barns*. Proc. "Building freestall barns and milking centers: methods and materials. NRAES. pp:125-140.